

INFLUENCIA DE LA AGUJA DE COSER EN LA FUERZA DE PENETRACIÓN DE LOS TEJIDOS "DENIM"

X. Capdevila*, J.M^a Pallarés**

0. 1. Resumen

Se estudia la fuerza de penetración en una serie de tejidos "denim" con el comprobador de costurabilidad L&M. Se estudia la influencia del número de capas, la dirección de costura, título de la aguja y forma de la punta. Se ha aplicado un diseño factorial mixto para cada uno de los tejidos analizados. A partir de los efectos principales y las interacciones se derivan las condiciones de cosido más favorables.

Palabras clave: fuerza de penetración, aguja de coser, denim.

0.2. Summary: INFLUENCE OF THE NEEDLE IN THE PENETRATION OF WEAVES "DENIM"

The penetration force is studied in a series of weaves "denim" with the sewability tester L&M. It is studied the influence of the number of layers, the direction of the seam, size of the needle and form of the point. A mixed factorial design has been applied for each one of the analyzed fabrics. Starting from the main effects and the interactions are derived the conditions of sewing more favorable.

Key words: penetration force, needle of sewing, denim.

0.3. Résumé: INFLUENCE DE L'AIGUILLE DE COUDRE SUR LA PÉNÉTRATION DE TISSUS "DENIM"

La force de la pénétration est étudiée dans une série de tissus "denim" avec le vérificateur L&M tester. Il est étudié l'influence du nombre de couches, la direction de la couture, diamètre de l'aiguille et forme de la pointe. Un dessin factoriel mixte a été sollicité chacun des structures analysées. Après des effets principaux et les interactions est dérivé les conditions plus favorables pour les coutures utilisées sur les tissus.

Mots clé : force de pénétration, aiguille de coudre, denim.

* Dr. Ing. Xavier Capdevila, Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería Textil y Papelera.

** Ing. Josep M^a Pallarés, Responsable de Nuevos Desarrollos del Laboratorio de Ensayos e Investigaciones textiles del Acondicionamiento Terrasense (LEITAT).

1. INTRODUCCIÓN

El cosido es una actividad muy extendida y conocida por todo el mundo. Pero son los confeccionistas los que hacen de esta actividad un oficio y la industria (de la confección) un proceso, y como todo proceso es susceptible de generar defectos: daños en los materiales, rotura de hilos, puntadas saltadas, etc.

En el cosido industrial la aguja alcanza velocidades muy elevadas en el instante de atravesar el material textil. Los hilos tienen que permitir pasar la aguja entre ellos en un tiempo muy pequeño, del orden de milésimas de segundo. Por lo tanto, en este tiempo, los hilos de urdimbre y de trama deben experimentar pequeños desplazamientos laterales para acomodar la aguja en el interior del tejido (de calada), y estos movimientos son consecuencia de la fuerza ejercida por la aguja a su paso entre ellos. Esta fuerza es la suma de tres fuerzas:

- Fuerza de penetración. Es la reacción del material al penetrar la punta de la aguja.
- Fuerza de perforación. Es la necesaria para formar un agujero en el material y poder pasar toda la caña de la aguja transportando el hilo.
- Fuerza de fricción. Es resistencia de fricción entre el material y la superficie de la aguja en movimiento a través de aquel.

Stylios y Xu (1995) han propuesto un modelo matemático de acuerdo con la siguiente expresión:

$$F = A \times \partial r \times (tg\beta + \mu)$$

donde F es la fuerza, ∂r el desplazamiento radial de los hilos, β el ángulo de la punta de la aguja, μ el coeficiente de fricción aguja-material y A es un factor que depende de las propiedades mecánicas del tejido.

Desde el punto de vista experimental, una forma rápida y simple de controlar esta fuerza es midiendo el efecto calorífico que se produce en la aguja durante el cosido. Las temperaturas altas son síntomas de un daño físico; la medición de esta temperatura puede servir para caracterizar las condiciones de cosido. La prueba de costurabilidad de Hatra ("Hatra Sewability Test") se basa en establecer una curva de correlación entre la temperatura y los daños producidos en el cosido.

Otro ensayo simple -más simple- para determinar la costurabilidad -aptitud para coser un material sin problemas- es midiendo directamente la fuerza de la aguja en la acción de atravesar el material. Se espera que un tejido a través del cual la aguja pasa fácilmente se cosa sin problemas, pero si la aguja le cuesta penetrar surgirán problemas en la operación de cosido. La prueba de costurabilidad L&M ("L&M Sewability Test") mide esta fuerza bajo unas condiciones estándar, y esta medida es utilizada como indicador numérico de la costurabilidad.

La elección de la aguja correcta es muy importante, y debe efectuarse en la etapa en la que se estudia el producto textil para evitar los problemas en la fase de producción y sus costes derivados.

Para una máquina de coser, las agujas se distinguen por su título, punta y acabado superficial. El título se expresa por su número métrico -Nm- que indica el diámetro de la aguja en centésimas de milímetro; las puntas de las agujas para coser tejidos son redondas agudas y redondas de bola para facilitar la separación de los hilos; las superficies de las agujas industriales son cromadas, aunque se presentan también acabados especiales para disminuir la fricción y aumentar su duración.

La distribución de la fuerza de cosido en las distintas partes -punta, ojo y caña- se muestran en la figura 1. Este perfil puede modificarse en función de los parámetros citados -título, punta y acabado- y también en función de la geometría de la aguja (existen agujas específicas para determinados materiales-operaciones-máquinas).

La elección de la aguja se basa en el material a coser, el número de capas y la densidad/rigidez del material textil.

El "denim" es un tejido de ligamento sarga con los hilos de urdimbre teñidos, y se ha hecho famoso por ser el material con el que se confeccionan los pantalones tejanos*.

Los pantalones tejanos se fabrican generalmente con tejidos de algodón 100%, aunque también hay tipos en diversas mezclas diferentes de fibras. El colorido suele estar caracterizado por la combinación del azul de los hilos de urdimbre con el blanco de la trama, aunque también se emplean otros colores. Las costuras es otro factor característico, con costuras sobrecargadas que denotan la robustez de su confección.

A pesar de su elevada resistencia, puede ser problemático su confección. Los problemas más habituales son la rotura de las agujas y las puntadas saltadas. Esto implica paros de máquina y una reducción de calidad. La bibliografía -fabricantes de agujas- y la experiencia -confeccionistas- recomiendan agujas entre Nm 90 y 120 con aguja de punta redonda de bola.

En el presente estudio se analiza la fuerza de cosido de las agujas sobre los tejidos "denim" bajo diferentes condiciones de ensayo establecidas en un diseño factorial, cuyos límites de aplicación de las variables son conocidas en la práctica industrial.

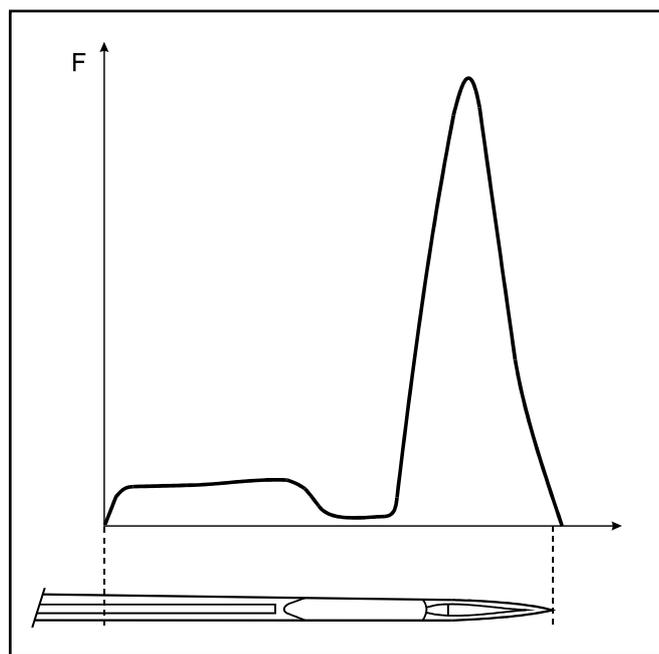


FIGURA 1: Fuerza de penetración de la aguja.

* La denominación *tejano* sólo se utiliza en España, junto a la de *vaquero*, voz usada también en varios países americanos. Aunque en muchos países se utiliza los términos *jean(s)* o *blue jean(s)*, el Diccionario panhispánico de dudas de la Academia de la lengua, recomienda los términos propios del español o, en todo caso, las voces inglesas en las formas de *bluyín* o *yín*.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materias

Se han utilizado tejidos "denim" de tres masas: 305, 400 y 500 g/m². Comercialmente corresponden, para pantalones, a un tejido ligero

de unos 9 oz/yd², medio de 12 oz/yd² y pesado de 14 ¾ oz/yd².

Las características estructurales y mecánicas de estos tejidos aparecen en la tabla 1. Los tejidos han sido lavados/desaprestados.

TABLA 1
Características de los tejidos "denim"

| Característica | Norma | Especificación 305 | Especificación 400 | Especificación 500 | Tolerancia |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| Ligamento | UNE 40161 | 2e1 b2,1 | 2e1 b 2,1 | 3e1 b 3,1 | |
| Título urdimbre | UNE 40.018 | 12 1/c Nc | 7 1/c Nc | 6 1/c Nc | ± 5% |
| Composición U | UNE 40.110 | Algodón 100% | | | ± 3 |
| Título trama | UNE 40.018 | 12 1/c Nc | 9 1/c Nc | 5 1/c Nc | ± 5% |
| Composición T | UNE 40.110 | Algodón 100% | | | ± 3 |
| Hilos U/cm | UNE-EN-1049-2 | 30 | 25 | 25 | ± 3 |
| Hilos T/cm | UNE-EN-1049-2 | 23 | 18 | 17 | ± 1 |
| Peso g/m ² | UNE 40.339 | 305 | 400 | 500 | ± 1 |
| Resistencia tracción kg | UNE-EN-ISO 13934-1 | U 95 T 70 | U 120 T 70 | U 150 T 100 | ± 10% ± 10% |
| Ancho útil cm | UNE-EN-1773 | 148 | 158 | 158 | ± 1 |

Del análisis de estos tejidos "denim" (tabla 1) se comprueba que existe una relación lineal (figura 2) entre los pesos y las resistencias obtenidas por urdimbre, según la siguiente ecuación de regresión:

$$R_u = 8,31 + 0,28xP$$

donde

R_u es la resistencia del tejido, en kg, en la dirección de la urdimbre.

P es el peso del tejido en g/m².

Este modelo explica el 99,71% de la variación de los resultados ($R^2_{ajustada}=99,71$) y la validez viene dada por el análisis de la varianza de la regresión que se muestra en la tabla 2.

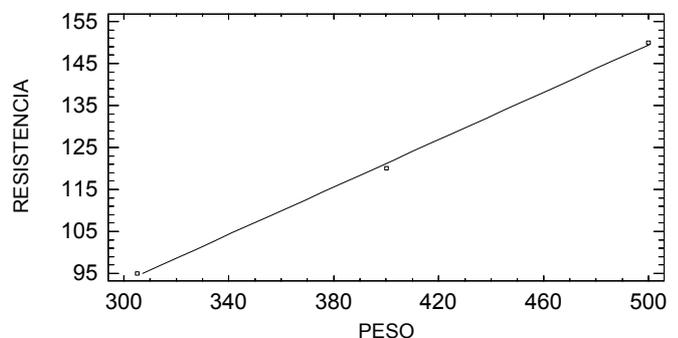


FIGURA 2: Relación entre la resistencia por urdimbre y el peso de los tejidos "denim".

TABLA 2
ANOVA de la regresión entre la resistencia por urdimbre y el peso del tejido

| Origen de la variación | Grados libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F | p |
|------------------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|-------|
| Modelo | 1 | 1514,52 | 1514,52 | 705,33 | 0,024 |
| Residual | 1 | 2,147 | 2,147 | | |
| TOTAL | 2 | 1516,67 | | | |

Sin embargo no puede establecerse una relación lineal con la resistencia obtenida en la dirección de los hilos de trama ya que los coeficientes de densidad (densidad por la raíz cuadrada del título en tex) por trama no aumentan con los pesos de los tejidos.

2.2. Equipo

El equipo utilizado en este trabajo es el comprobador de cosido L&M. Este aparato arrastra, por medio de un rodillo, un tira de tejido de 3x35, y lo hace pasar por una plancha de aguja donde una aguja situada en la parte inferior realiza automáticamente 100 penetraciones. Un sensor de tensión va incorporado en el cabezal de cosido y mide la fuerza cada vez que la aguja pasa a través del tejido. El aparato registra la fuerza media y el porcentaje de fuerzas que sobrepasan un umbral de fuerza definido.

No se utiliza hilo de coser. El aparato mide la cosibilidad del tejido, no la acción del hilo (los hilos normales no contribuyen de forma significativa a los daños del cosido).

No se ha utilizado el aparato como un comprobador de cosido sino como un medidor de fuerza, analizando como varía ésta con distintas variantes de agujas. No obstante, se ha ajustado el aparato como una prueba de cosido tal como indica en su manual de instrucciones.

3. PLAN EXPERIMENTAL

Los factores que se consideran en este trabajo son el número de capas, la dirección de cosido, el título de la aguja y la forma de la punta. Y se pretende, tal como se ha indicado anteriormente, conocer mejor cómo es la relación entre ellos y la respuesta, la fuerza de perforación, y generar, en unas condiciones de trabajo determinadas, un mejor conocimiento.

Respecto al primer factor, número de capas, se ha considerado cuatro niveles de ensayo, una, dos, tres y cuatro capas, que simulan cuatro tipos de costura, tal como se muestra en la figura 3: La 1 es una clase de pespunte que tiene por característica general una serie de puntadas incorporadas al material siguiendo una línea recta, curva ó dibujo ornamental. La 2 es una clase de costuras que tienen por característica general que los materiales están superpuestos y unidos por las puntadas. La 3 es una clase de costuras que tiene por característica general que las de puntadas están situadas sobre el orillo del material doblado y la 4 tiene por característica general que los materiales están superpuestos por los orillos y unidos por las puntadas

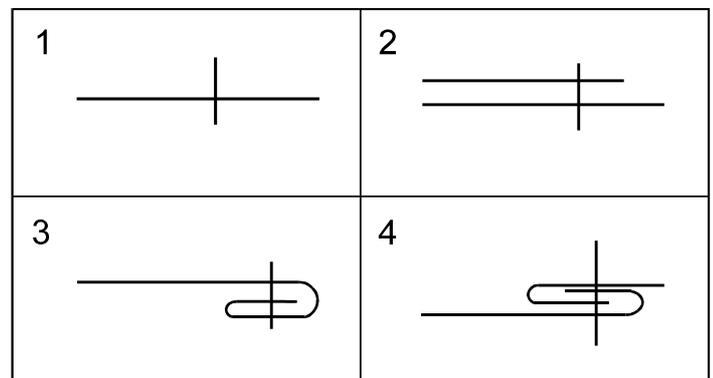


FIGURA 3: Esquemas de costura.

La disposición de las muestras para obtener las cuatro condiciones de ensayo se indica en la figura 4 (téngase en cuenta que en el aparato L&M el movimiento de la aguja es de abajo-arriba; con una redondita se especifica el haz y con dos el envés de los tejidos).

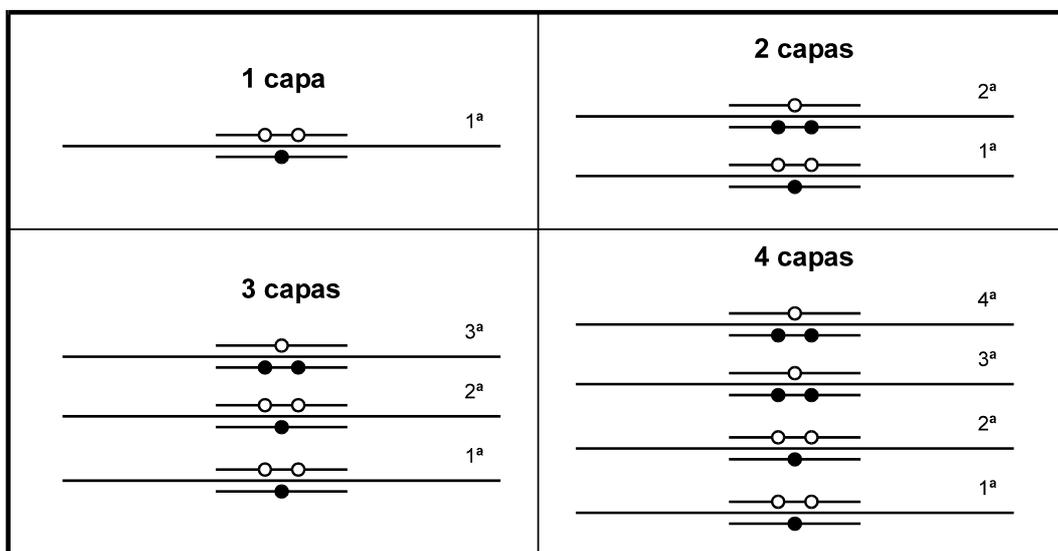


FIGURA 4: Condiciones de ensayo de las probetas.

Respecto a la dirección de cosido se ha considerado la de urdimbre y la de trama. Los títulos de aguja ensayado son 90, 100, 110 y 120, y las puntas consideradas son la punta redondeada normal (R), punta redondeada especial para máquina con puntada de cadeneta y recubrimiento de nitruro de titanio (RG), punta de bola pequeña (FFG ó SES como figura en los gráficos) y punta de bola mediana (SUK).

Lo anterior nos genera un diseño factorial mixto de 4x2x4x4, es decir, 128 condiciones experimentales realizadas sobre los tres tejidos "denim" citados en el apartado 2.1. Y en cada probeta de tejido se ha efectuado dos ensayos (repeticiones). Cuando algún valor resultó anómalo -fuerza, por ejemplo, cero- se repitió el ensayo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los 128x2 tratamientos en los tres tejidos ensayados se analizan en las mejores ANOVAS obtenidas que se adjuntan en las tablas 3, 4 y 5.

De antemano puede afirmarse que la dirección de cosido no tiene una influencia significativa en ningún caso, y la contundencia de los porcentajes "p" en las ANOVAS respecto al número de capas, forma de la punta y el título de la aguja es tan fuerte que difícilmente un incumplimiento de las hipótesis del modelo -normalidad, varianza constante e independencia- pueden cambiar los resultados. También, podría decirse lo mismo de la interacción aguja-punta.

TABLA 3
 Mejor ANOVA del tejido DENIM de 305g/m²

| Origen de la Variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F | p |
|---------------------------------|--------------------|-------------------|----------------|-------|-------|
| Efectos principales: | | | | | |
| • Capas | 3 | 1.5485E6 | 516167.0 | 93.39 | 0.000 |
| • Aguja | 3 | 599711.0 | 199904.0 | 36.17 | 0.000 |
| • Punta | 3 | 44556.2 | 14852.1 | 2.68 | 0.050 |
| Interacciones de dos factores: | | | | | |
| • Capas – agujas | 9 | 139503.0 | 15500.3 | 2.80 | 0.004 |
| • Agujas – punta | 9 | 480514.0 | 53390.4 | 9.68 | 0.000 |
| Interacciones de tres factores: | | | | | |
| • Capas – aguja – punta | 27 | 267319.0 | 9900.7 | 1.79 | 0.013 |
| Residual | 201 | 1110822.9 | 5526.48 | | |
| TOTAL | 255 | 4.19093E6 | | | |

TABLA 4
 Mejor ANOVA del tejido DENIM de 400g/m²

| Origen de la Variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F | p |
|--------------------------------|--------------------|-------------------|----------------|-------|-------|
| Efectos principales: | | | | | |
| • Capas | 3 | 721397.0 | 240466.0 | 71.27 | 0.000 |
| • Aguja | 3 | 196959.0 | 65652.9 | 19.46 | 0.000 |
| • Punta | 3 | 38605.3 | 12868.4 | 3.81 | 0.010 |
| Interacciones de dos factores: | | | | | |
| • Capa – agujas | 9 | 103651.0 | 11516.7 | 3.41 | 0.000 |
| • Capa – punta | 9 | 68587.0 | 7620.78 | 2.26 | 0.020 |
| • Agujas – punta | 9 | 256154.0 | 28461.5 | 8.44 | 0.000 |
| Residual | 219 | 782655.66 | 3373.77 | | |
| TOTAL | 255 | 2.16801E6 | | | |

TABLA 5
 Mejor ANOVA del tejido DENIM de 500g/m²

| Origen de la Variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F | p |
|--------------------------------|--------------------|-------------------|----------------|-------|-------|
| Efectos principales: | | | | | |
| • Capas | 3 | 771071.0 | 257024.0 | 39.71 | 0.000 |
| • Punta | 3 | 156354.0 | 52117.9 | 8.05 | 0.000 |
| Interacciones de dos factores: | | | | | |
| • Aguja – punta | 9 | 154301.0 | 17144.6 | 2.65 | 0.006 |
| Residual | 2240 | 1553177.3 | 6471.572 | | |
| TOTAL | 255 | 2.6349E6 | | | |

En las figuras 5, 6 y 7 se grafican las fuerzas contra los residuales y se visualiza una violación al supuesto de varianza constante, tanto mayor cuanto mayor es el peso del tejido.

Asimismo, también se tiene un incumplimiento del supuesto de normalidad, puesto que la distribución de los residuales no se ajusta a la recta de probabilidad normal, tal como se muestra en las curvaturas de las figuras 8, 9 y 10; y también se presenta alguna observación aberrante.

Por otra parte, los ensayos para cada tejido se han realizado de forma aleatoria y se cumple la independencia de los residuales al no presentarse ninguna tendencia en los gráficos secuenciales respectivos (no se incluyen en el texto).

A pesar de lo antes dicho, y dados los valores de "p" tan bajos (nulos) en las anovas que los efectos son suficientemente potentes para suponer que no cambien la conclusiones del análisis.

Se procede a interpretar los efectos significativos en las mejores ANOVAS de la tabla 3, 4 y 5.

Respecto al tejido ligero, tabla 3, los efectos principales interactúan, por tanto procedemos a comentar los efectos interrelacionados, que se muestran en las figuras 11, 12 y 13: en la figura 11 se muestra como la fuerza aumenta con el número de capas y con el título la aguja, siendo la que proporciona un mejor resultado la aguja de 90. En la figura 12 se aprecia como los perfiles de las curvas para las puntas de bola, SES y SUK, respecto a la variación del título son parecidas mientras que los perfiles para las puntas redondas,

R y RG, son contrarias; con una punta delgada, 90, las puntas R y SES proporcionan fuerzas menores y con puntas gruesa, 120, la mejor es la RG. En la figura 13 se aprecia que para una, dos y tres capas las puntas de bola proporcionan menores fuerzas y con cuatro capas la aguja de punta RG.

Respecto al tejido medio, tabla 4, los efectos principales también interactúan entre sí, por lo que pasamos a comentar estas interacciones: en la figura 14 se muestra el aumento de la fuerza al aumentar el número de capas, pero con una capa la aguja de 90 da menor fuerza y para más capas la aguja 100. En la figura 15, se muestra que para una capa la punta mejor es la RG y para cuatro la R, y en la figura 16, la punta R es la que da menor fuerza en la aguja delgada de 90 y en la aguja gruesa de 120.

Respecto al tejido pesado, tabla 5, el efecto principal número de capas se muestra en la figura 17, aumentando -como sucede en todos los casos- la fuerza con el número de capas que se tienen que perforar. Los efectos aguja y punta se muestran en la figura 18, donde los perfiles de las curvas de las puntas RG y SES son paralelos y los perfiles de las puntas R y SUK son bastante parecidos, siendo la curva SUK la más nivelada y baja (menor fuerza para los distintos títulos de las agujas).

De forma comparativa, se observa que al aumentar el peso del tejido la fuerza de perforación en relación al número de capas va "perdiendo linealidad"; esto se traduce en una disminución de los coeficientes de correlación (ajuste más deficiente), tal como se muestra en la tabla 6.

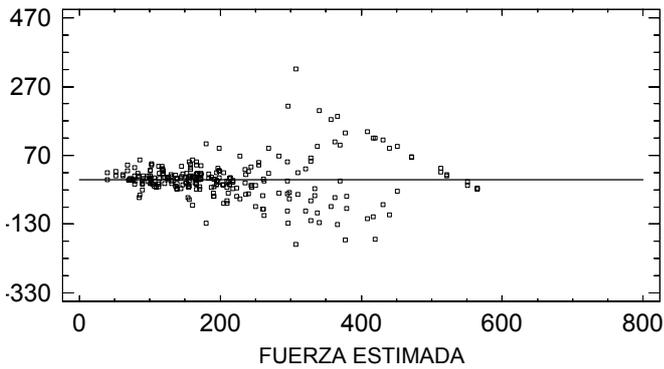


FIGURA 5: Fuerza estimada versus residuales en el tejido de 305 g/m².

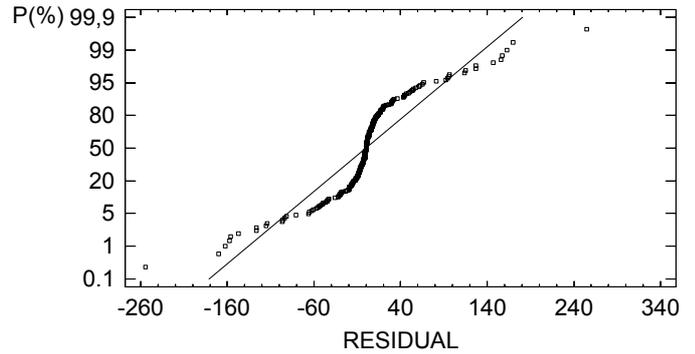


FIGURA 8: Gráfica de probabilidad normal, residuales en tejido 305 g/m².

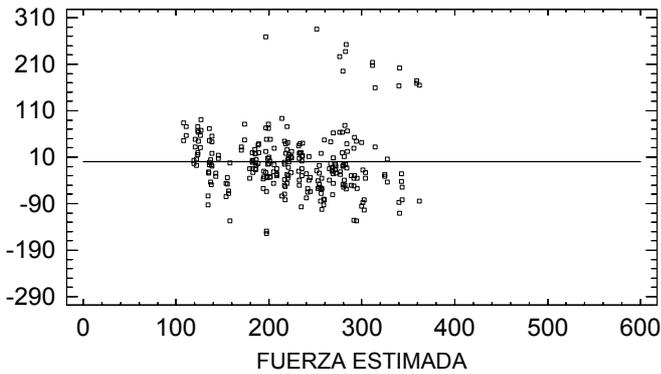


FIGURA 6: Fuerza estimada versus residuales en el tejido de 400 g/m².

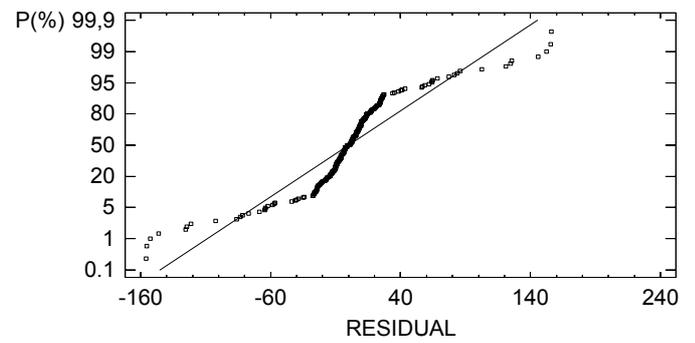


FIGURA 9: Gráfica de probabilidad normal; residuales en tejido 400g/m².

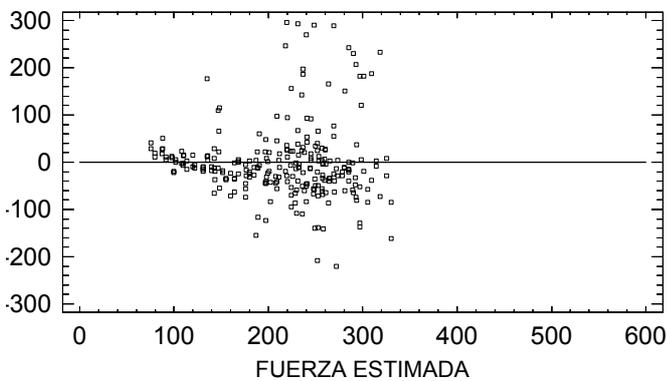


FIGURA 7: Fuerza estimada versus residuales en el tejido de 500 g/m².

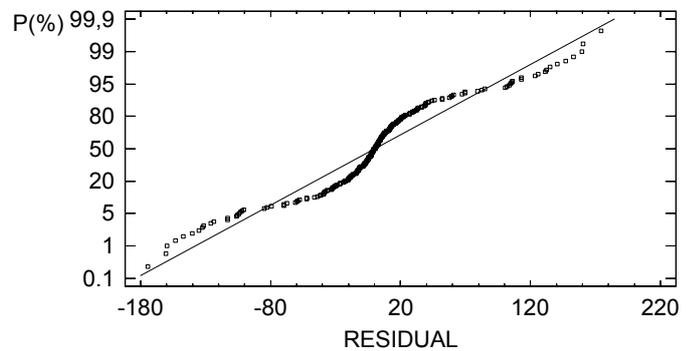


FIGURA 10: Gráfica de probabilidad normal; residuales en tejido 500g/m².

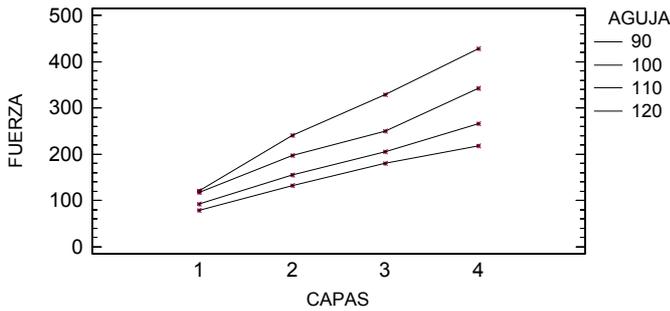


FIGURA 11: Interacción capa-aguja en tejidos de 305g/m².

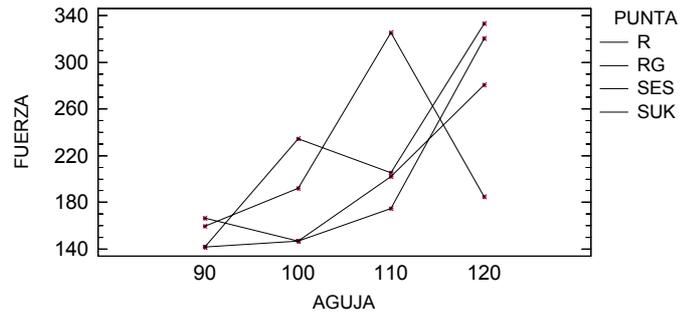


FIGURA 12: Interacción aguja-punta en tejidos de 305 g/m².

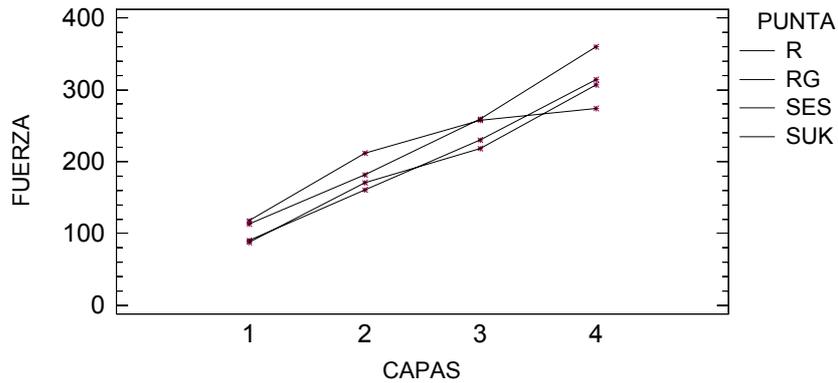


FIGURA 13: Interacción capa-punta en tejidos de 305 g/m².

TABLA 6
 Relación lineal entre la fuerza (F) y el número de capas de cosido (C)

| TEJIDO (g/m ²) | RELACION FUERZA-CAPAS | COEFICIENTE CORRELACION | VALIDEZ MODELO (p- Anova) |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| 305 | $F=35,97+69,48xC$ | 99,87 | 1% |
| 400 | $F=107,80+47,20xC$ | 99,41 | 1% |
| 500 | $F=97,56+47,02xC$ | 95,89 | 5% |

En el tejido de 305 g/m² la interacción entre tamaño de agujas y número de capas es de magnitud (figura 11), mientras que en los tejidos de 400 y 500 g/m² las interacciones son de signo

(figura 14 - esta interacción para el de 500 g/m² no se ha representado por no haber resultado significativa).

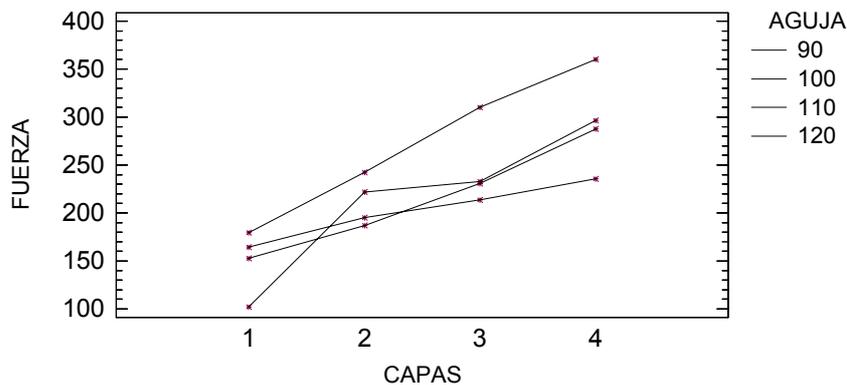


FIGURA 14: Interacción capas-aguja en el tejido de 400 g/m².

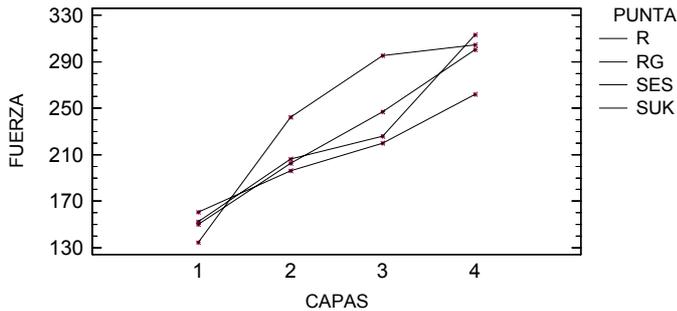


FIGURA 15: Interacción capas-punta en el tejido de 400 g/m².

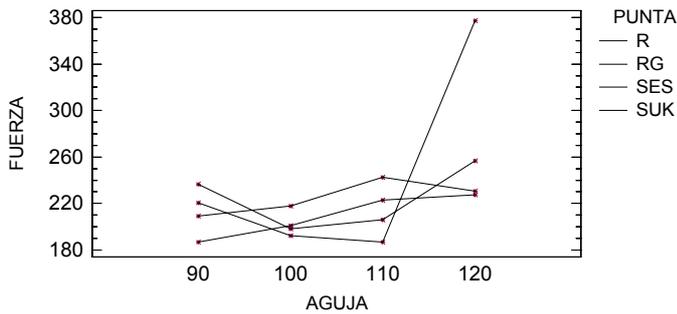


FIGURA 16: Interacción aguja-punta en el tejido de 400 g/m².

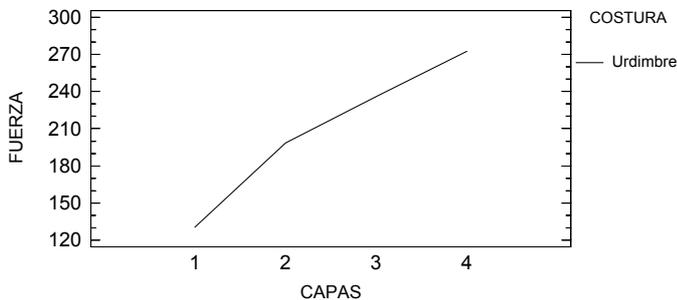


FIGURA 17: Relación fuerza-número de capas en el tejido de 500g/m².

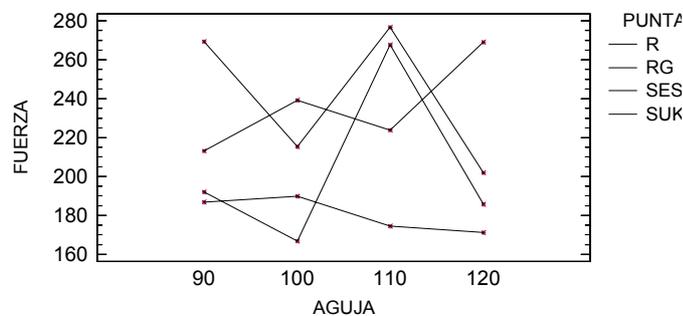


FIGURA 18: Interacción aguja-punta en el tejido de 500g/m².

5. CONCLUSIONES

Los ensayos llevados a cabo en muestras del mismo tejido no dan resultados idénticos, ni siquiera resultados aparentemente consistentes. También se han producidos notables variaciones, bien por la naturaleza irregular de los materiales bien por la sensibilidad y/o ajuste del aparato, que se ha utilizado con un propósito distinto de la finalidad ó utilidad para el cual se desarrolló: comprobador de un estándar de cosibilidad.

No obstante -y de acuerdo con lo expuesto en este trabajo- se pueden extraer unas conclusiones en base al orden de los resultados que son válidas en la práctica industrial y permite un mayor conocimiento de las relaciones entre las variables principales del cosido de los tejidos "denim":

5.1. En el tejido de 305 g/m² para coser de una a tres capas la aguja más recomendable es la de título 90 con punta de bola pequeña. Para cuatro capas, la aguja de 120 con punta RG.

5.2. En el tejido de 400 g/m² para coser una capa la aguja de 90 con punta R, y para dos, tres y cuatro capas la de 100 con punta R.

5.3. En el tejido de 400 g/m² para coser de una a tres capas la aguja de 100 con punta de bola pequeña y para cuatro capas la aguja de 120 de bola mediana.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las empresas TEXTIL SANTANDERINA y GROZ-BECKERT por el material suministrado, y al Sr. Pablo De Gante por su colaboración en el desarrollo experimental.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Stepan V. Lomov, "A predictive model for the penetration force f a woven fabric by a needle". International Journal of Clothing Science and Technology, Vol 10 N^o 2, (1998).
2. R.A. Khan, S.P. Hersh and P.L. Grady, "Simulation of needle-fabric interactions in sewing operations". Textile Research Journal, N^o 6, (1970).
3. J.P. Domingues, A.M. Manich, R.M. Sauri and M.D. Castellar, "Study on the force required to thrust a sewing needle through various fabrics", Indian Journal of Fibre & Textile Research", Vol 18, (1993).
4. A. Barella, J.P.N. Domínguez, A.M. Munich, R.M. Sauri, "Una contribución al estudio de la costurabilidad de los tejidos de lana y mezclas", Revista de la Industria Textil, N^o 346, (1997).
5. S. Galuszynski, "Effect of fabric structure on fabric resistance to needle piercing", Textile Research Institute, (1985).

